H形鋼フランジの弾塑性座屈解析に基づく SRC 柱の靭性能評価

東北大学大学院	学生会員	○白濱	永才	東北大学大学院	正会員	内藤	英樹
東北大学大学院	正会員	秋山	充良	東北大学大学院	フェロー	鈴木	基行

1. はじめに

著者らが行った SRC 柱の正負交番載荷実験¹⁾では,H 形鋼の割合の多い供試体において,かぶり剥落後に H 形鋼フランジの局部座屈が生じ,その後の交番載荷によって座屈部周辺の鋼材が破断することで,脆性的 に水平耐力を失う結果となった.そこで,本研究では,破断の前段階である H 形鋼の局部座屈を SRC 柱の 終局限界とし,平板の弾塑性座屈理論に基づく H 形鋼フランジの局部座屈発生時ひずみの算定手法を提案す る.そして,SRC 柱の正負交番載荷実験や FEM 解析²⁾との終局変位の比較により,提案手法の妥当性を検討した.

2. H 形鋼フランジの終局ひずみの定式化

著者ら²⁾は,SRC柱におけるH形鋼を対象とした3次元FEM解析により,実験時のH形鋼の座屈性状が 概ね再現できることを確認した.図-1にFEM解析の結果を示す.SRC柱では,コンクリートがフランジの 断面内側への座屈とウェブの面外変形を拘束することで,辺OC,OA,CBを固定辺とした座屈モードとなっ た.そこで,このような3辺を固定支持および辺ABを自由辺とした境界条件(以下,3辺固定支持)でのフラ ンジ要素OABCのエネルギーの釣合い³⁾を考慮することで,

座屈発生点に対応した終局ひずみを定式化する.座屈による たわみ関数 w を式(1)で仮定する.

$$w = \delta \sin^2 \frac{\pi x}{L_{buc}} \left(1 - \cos \frac{\pi y}{2b} \right) \tag{1}$$

ここで、 L_{buc} はフランジの局部座屈が生じる領域(以下、座屈 長)、bはフランジ幅(H 形鋼の断面幅の 1/2)、 δ は座屈頂部で のたわみ量である.また、フランジ要素 OABC のエネルギー の釣合いにより、座屈強度 σ_{buc} は次式で定式化される.

$$\sigma_{buc} = \frac{D\pi^2}{b^2 t_f} \left\{ \left(3 - \frac{8}{\pi} \right) \left(\frac{b}{L_{buc}} \right) \kappa_1 + \frac{3}{256} \left(\frac{L_{buc}}{b} \right)^2 \kappa_3 + \left(\frac{1}{8} - \frac{1}{2\pi} \right) \kappa_2 + \frac{1}{4} \kappa_4 \right\} \right\} / \left(\frac{3}{4} - \frac{2}{\pi} \right)$$
(2)

$$\kappa_{1} = \frac{1 + 3(E_{t} / E_{s})}{2 - 4\nu + 3(E / E_{s}) - (1 - 2\nu)^{2}(E_{t} / E)}$$

$$\kappa_{2} = \frac{2 - 2(1 - 2\nu)(E_{t} / E)}{2 - 4\nu + 3(E / E_{s}) - (1 - 2\nu)^{2}(E_{t} / E)}$$

$$\kappa_{3} = \frac{4}{2 - 4\nu + 3(E/E_{s}) - (1 - 2\nu)^{2}(E_{t}/E)}$$

 ε_{buc}

$$\kappa_4 = \frac{1}{-1 + 2\nu + 3(E/E_s)}$$
$$E_s = \frac{\sigma_y + E_t(\varepsilon_{buc} - \varepsilon_y)}{2\nu}$$



図-1 フランジ要素の座屈解析モデル



Key Words: SRC 柱, H 形鋼の局部座屈, 平板の座屈解析, 靭性能評価 連絡先:〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 TEL:022(795)7449 FAX:022(795)7448

		終局変位*(mm)	座屈長(mm)	塑性化長さ(mm)	
No.1S ¹⁾ ($b/t_f=6.7$)	提案手法	89	192	321	
	FEM 解析	99	175	350	
	実験結果	143	200	250	
No.3S ¹⁾ ($b/t_f=8.3$)	提案手法	98	125	345	
	FEM 解析	124	125	390	
	実験結果	123	100	350	
No.4S ¹⁾ ($b/t_f=8.3$)	提案手法	74	237	308	
	FEM 解析	88	175	325	
	実験結果	106	200	350	

表-1 実験結果との比較による提案手法の妥当性

*フーチングからの鋼材の伸び出しの影響(かぶり剥落時の鉛直変位計の計測値)を含む. ただし, No.3S では変位計の値に大きな誤差が含まれたことから No.4S の実験結果を用いた.

ここで、 t_f はフランジ厚さ、D は板の曲げ剛性、E は初期剛性、E_tは降伏後の接線剛性、 ε_y は降伏ひずみ、 σ_y は降伏応力、v はポアソン比、 κ_1 、 κ_2 、 κ_3 、 κ_4 は Bijlaard⁴⁾の弾塑性理論による定数である.式(2)の σ_{buc} と鋼 材の応力–ひずみ関係により定まる応力が等しくなるときにフランジ要素 OABC の座屈が生じる.終局ひず み ε_{buc} の算定フローを図-2に示す.

3. 提案手法の妥当性の検討

図-2 の算定フローによる終局ひずみに基づき部材長さ方向の曲率分布を定め、これを二階積分すること で SRC 柱における H 形鋼の座屈発生時変位を算定した.著者らの正負交番載荷実験(断面寸法 500mm× 500mm, せん断スパン 1500mm),および図-1 で示した FEM 解析結果²⁾との比較により図-2のフローの妥 当性を検討する.正負交番載荷実験との比較を行う際には、フーチングからの鋼材の伸び出しによる回転変 位を考慮する必要がある.著者らの正負交番載荷実験では、柱基部に鉛直変位計を設置することで鋼材の伸 び出しによる回転変位を計測している.しかし、かぶり剥落後の交番載荷では、鉛直変位計による計測が行 えなかったことから、鉄道構造物等設計標準⁵⁾を参考にして、解析ではかぶり剥落後における鋼材の伸び出 しによる回転変位は増加しないとの仮定を設けた.

座屈時発生変位,フランジの座屈長,および塑性化長さの比較を表-1 に示す.表-1 より,提案手法は いずれの供試体に対しても、実験で観察された H 形鋼の座屈発生時変位を過小評価した.しかし,これらの 比較では,i)解析では終局時のフーチングからの鋼材の伸び出しの影響を過小に評価している,ii)実験時の H 形鋼の座屈発生点は、フランジ外側のコンクリートが剥落することではじめて目視により確認されることか ら数ステップ程度の誤差が含まれることが予想される、などを考慮すると、提案手法は実験結果を妥当に評 価したものと考えられる.また、提案手法は実験結果に示されるフランジの座屈長や塑性化長さを概ね再現 できた.

4. まとめ

本研究では、H 形鋼フランジの局部座屈形状に着目し、3 辺固定の支持条件を仮定したフランジ要素のエ ネルギーの釣り合いを考慮することで、座屈発生点に対応した終局ひずみの算定フローを提示した.正負交 番載荷実験および FEM 解析との比較から、提案手法は H 形鋼の局部座屈発生時変位、フランジの座屈長や 塑性化長さを良好に評価できることが確認された.

参考文献

1) 内藤英樹ほか:正負交番荷重を受ける SRC 柱の塑性曲率分布のモデル化および軸方鉄筋の座屈に着目した靱性能評価,構造工学論文集, Vol.51A, pp.1415-1424, 2005. 2) 内藤英樹ほか:正負交番荷重を受ける SRC 柱で生じる H 形鋼の局部座屈性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.2, pp.1219-1224, 2005. 3) Stephen P. Timoshenko: Theory of Elastic Stability, Engineering Societyies Monographs, Mcgraw-Hill Book Company, Inc., 1961. 4) Bijlaard, P.P: Theory and Tests on Plastic Stability of Plates and Shells, Journal of the Aeronotical Sciences, Vol.16, pp.529-541, 1949. 5) 鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 1999.